



SIGMA

JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI

Vol. 12, No. 2, Juli 2009

Sri Listyarini

**SIMULASI SISTEM DINAMIK UNTUK MEMPREDIKSI NILAI DEGRADASI KESEHATAN AKIBAT
POLUSI GAS SOX DI UDARA AMBIEN DKI JAKARTA**

Sudi Mungkasi and Lusia Krismiyati Budiasih

**EXPERIMENTS ON GRAM-SCHMIDT PROCESS AND GRAM-SCHMIDT PROCESS
WITH REORTHOGONALISATION**

Jose Rizal, Sutawanir Darwis dan Ali Ashat

**APLIKASI SIMULASI ANNEALING DALAM MEMPREDIKSI
TEKANAN ALIR RESERVOIR PANAS BUMI**

M. Masykuri, Cynthia L. Radiman, I Made Arcana dan Sadijah Achmad

**PENGARUH JENIS DIOL DAN PEMANJANG RANTAI TERHADAP
VISKOSITAS INTRINSIK POLI(URETAN-UREA)**

Paul Suparno

**DIFRAKSI SINAR X UNTUK MENGUKUR JARAK
DIFRAKSI KRISTAL MgO, LiF, DAN NaF**

Halauddin dan Suhendra

**APLIKASI AUTOMATA GAS KISI UNTUK MENGESTIMASI
PERMEABILITAS RETAKAN BATUAN**

Hanggara Sudrajat, Maria Eka Putri, dan Bambang Soediharjo

**ANTIMICROBIAL EFFECTS OF RHIZOPHORA APICULATA PYROLIGNEOUS
ACID AGAINST PATHOGENIC MICROORGANISMS**

Nurul Sumiasri, Yani Cahyani, dan Dody Priadi

**PENGARUH BERBAGAI MEDIA DAN WAKTU PERENDAMAN BIJI TERHADAP
PERTUMBUHAN BIJI JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* L)**

Linggo Sumarno, Adhi Susanto, Thomas Sri Widodo dan Jazi Eko Istiyanto

SEGMENTASI KATA TULISAN TANGAN MENGGUNAKAN TAPIS GAUSSIAN 1D

Flora Elvistia Firdaus

**PENGARUH KONDISI OPERASI PROSES HIDROLISISJAGUNG MANIS
(*Zea Mays Saccharata*) TERHADAP KANDUNGAN GLUKOSA**

Jurnal sains dan teknologi **SIGMA** diterbitkan dua kali setahun, yaitu pada bulan Januari dan Juli, sebagai wahana komunikasi ilmiah di bidang sains dan teknologi serta lintas-ilmu yang terkait. Penyunting menerima karangan ilmiah dalam bidang-bidang tersebut berupa hasil penelitian, survei, atau telaah pustaka, yang belum pernah dipublikasikan dalam terbitan lain. Penyunting berhak untuk menyunting karangan yang akan dimuat tanpa mengubah isinya. Ketentuan tentang penulisan karangan dapat dibaca pada bagian dalam sampul belakang jurnal ini atau di <http://www.usd.ac.id/06/jurnal/sigma.htm>.

DEWAN PENYUNTING

Pemimpin / Penanggungjawab	: Prof. Dr. Frans Susilo, SJ
Wakil Pemimpin / Wakil Penanggungjawab	: Ir. Greg Harjanto
Sekretaris	: Dr. C.J. Soegihardjo, Apt
Dewan Penyunting	: Prof. Drs. R. Soemantri Ir. Bambang Sutopo, M.Phil Drs. J. Eka Priyatma, M.Sc Ir. Ig. Aris Dwiatmoko, M.Sc Dr. Ign. Edi Santosa, M.Si Ir. F. A. Rusdi Sambada, M.T
Penyunting Pelaksana	: Y. Kristio Budiasmoro, S.Si, M.Si Agnes Maria Polina, S.Kom, M.Sc Y.G. Hartono, S.Si, M.Sc
Sekretaris Administrasi	: A. Yunaeni Mariati, S.E

Alamat Penyunting:

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma
Kampus III: Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman.
Teromol Pos 29, Yogyakarta 55002
Telpon: (0274) 883968, 883037. Fax: (0274) 886529
E-mail: sigma@staff.usd.ac.id

Penerbit:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Sanata Dharma
Kampus II: Jl. Affandi, Mrican
Teromol Pos 29, Yogyakarta 55002
Telpon: (0274) 513301, 515352. Fax: (0274) 562383
E-mail: lemlit@staff.usd.ac.id

SIGMA

JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI

Vol. 12, No. 2, Juli 2009

ISSN: 1410-5888

DAFTAR ISI

EDITORIAL	iii
SIMULASI SISTEM DINAMIK UNTUK MEMPREDIKSI NILAI DEGRADASI KESEHATAN AKIBAT POLUSI GAS SOX DI UDARA AMBIEN DKI JAKARTA <i>Sri Listyarini</i>	103 - 115
EXPERIMENTS ON GRAM-SCHMIDT PROCESS AND GRAM-SCHMIDT PROCESS WITH REORTHOGONALISATION <i>Sudi Mungkasi and Lusia Krismiyati Budiasih</i>	117 - 126
APLIKASI SIMULASI ANNEALING DALAM MEMPREDIKSI TEKANAN ALIR RESERVOIR PANAS BUMI <i>Jose Rizal, Sutawanir Darwis, dan Ali Ashat</i>	127 - 136
PENGARUH JENIS DIOL DAN PEMANJANG RANTAI TERHADAP VISKOSITAS INTRINSIK POLI(URETAN-UREA) <i>M. Masykuri, Cynthia L. Radiman, I Made Arcana, dan Sadijah Achmad</i>	137 - 144
DIFRAKSI SINAR X UNTUK MENGUKUR JARAK DIFRAKSI KRISTAL MgO, LiF, DAN NaF <i>Paul Suparno</i>	145 - 151
APLIKASI AUTOMATA GAS KISI UNTUK MENGESTIMASI PERMEABILITAS RETAKAN BATUAN <i>Halaudhin dan Suhendra</i>	153 - 160
ANTIMICROBIAL EFFECTS OF RHIZOPHORA APICULATA PYROLIGNEOUS ACID AGAINST PATHOGENIC MICROORGANISMS <i>Hanggara Sudrajat, Maria Eka Putri, dan Bambang Soediharjo</i>	161 - 168
PENGARUH BERBAGAI MEDIA DAN WAKTU PERENDAMAN BIJI TERHADAP PERTUMBUHAN BIJI JARAK PAGAR (<i>Jatropha curcas</i> L) <i>Nurul Sumiasri, Yani Cahyani, dan Dody Priadi</i>	169 - 177
SEGMENTASI KATA TULISAN TANGAN MENGGUNAKAN TAPIS GAUSSIAN 1D <i>Linggo Sumarno, Adhi Susanto, Thomas Sri Widodo, dan Jazi Eko Istiyanto</i>	179 - 189
PENGARUH KONDISI OPERASI PROSES HIDROLISIS JAGUNG MANIS (<i>Zea Mays Saccharata</i>) TERHADAP KANDUNGAN GLUKOSA <i>Flora Elvistia Firdaus</i>	191 - 196
INDEKS	197 - 199

EDITORIAL

Kitakyushu adalah sebuah kota kecil di pulau Kyushu, Jepang bagian barat. Penduduk kota tersebut membanggakan kota mereka sebagai salah satu kota industri terbesar di Jepang. Berbagai pabrik besar dibangun di kota tepi pantai itu. Penduduk setempat maupun seluruh negeri Jepang memang dapat menikmati pertumbuhan ekonomi dan teknologi yang pesat berkat adanya pusat industri raksasa di Kitakyushu itu, tetapi di sisi lain tanpa terasa sedikit demi sedikit penduduk kota itu mulai merasakan dampak negatif yang merugikan kehidupan mereka. Asap coklat, hitam, merah yang menyembur dari ratusan cerobong pabrik menyelimuti langit kota itu, bau tak sedap yang menyengat tersebar ke mana-mana, debu tebal berterbangan di seluruh penjuru kota, dan kebisingan yang menderu-deru terdengar di mana-mana. Sekolah-sekolah seringkali terlambat dimulai karena guru dan murid harus membersihkan debu yang mengotori ruang kelas dan perabotannya, anak-anak seringkali tidak masuk sekolah karena sakit, ibu-ibu mengalami kesulitan untuk memasak karena airnya keruh dan berbau, jemuran pakaian sulit menjadi kering karena sinar matahari jarang sampai ke bumi, banyak tumbuhan dan hewan yang mati keracunan. Polusi lingkungan telah berkembang sedemikian mematikan, sehingga laut di sekitar teluk Dokai yang terletak di pinggir kota itu dijuluki "Laut Mati".

Adalah para ibu di kota tersebut yang pertama kali menyadari bahwa mereka harus berbuat sesuatu untuk mengatasi masalah besar itu dan menghindari dampak negatif yang lebih mengerikan. Mereka mulai mengadakan demo di depan pabrik-pabrik yang memenuhi kota itu dan menemui pemerintah kota untuk menyuarakan hak penduduk untuk menghirup udara bersih. Tentu saja mereka dianggap sepi dan tidak digubris karena dinilai menentang arus, tetapi mereka tidak menyerah. Mereka membuat sebuah film pendek berjudul *Aozora ga Hoshii* (*Kembalikan Langit Biru Kami*) yang menggambarkan penderitaan penduduk kota itu akibat polusi yang mengerikan. Setelah berjuang selama bertahun-tahun, akhirnya pemerintah kota dan para pengelola industri itu berhasil disadarkan. Undang-Undang tentang Penanganan Polusi Udara disahkan pada tahun 1968. Setiap pengelola industri membentuk Unit Pengendali Lingkungan di pabriknya masing-masing. Pemerintah dan pengelola industri bersepakat untuk membagi tugas menangani masalah lingkungan hidup itu: pihak industri menangani polusi udara, air, dan limbah pabrik, sementara pemerintah membangun saluran pembuangan dan taman kota. Hasilnya sangat mengagumkan! Dalam waktu kurang dari dua dekade mereka berhasil mengubah wajah kota Kitakyushu yang semula gelap dan berdebu itu menjadi bersih dan cerah. Tahun yang lalu pemerintah Jepang menobatkan Kitakyushu sebagai model kota yang ramah lingkungan dan tolok ukur pengendalian polusi di Jepang. Para pakar lingkungan dari seluruh dunia berdatangan ke kota kecil itu untuk mempelajari cara-cara mengendalikan polusi. Pada tahun 2000 para menteri Lingkungan Hidup se Asia dan Pasifik, di bawah naungan dan dorongan Perserikatan Bangsa-Bangsa, menyepakati apa yang disebut "*Kitakyushu Initiative for a Clean Environment*", yang bertujuan untuk mendorong dan menggalakkan usaha-usaha untuk menjaga lingkungan perkotaan yang bersih di negara-negara Asia dan Pasifik.

Pencemaran lingkungan tidak hanya terjadi di Kitakyushu, dampaknya telah terasa di seluruh dunia. Laju pertumbuhan pemanasan global belum berhasil dikurangi sehingga mengancam kehidupan manusia. Apabila tidak dilakukan usaha-usaha pencegahan, dipastikan bencana besar akan terjadi: mencairnya es di kutub, tenggelamnya pulau-pulau kecil, perubahan musim tidak menentu, kekeringan, menurunnya produksi pangan dan persediaan air, dan munculnya berbagai macam wabah penyakit. Pengalaman Kitakyushu amat berharga untuk kita renungkan dan kita tindaklanjuti. Memang pengembangan ekonomi dan teknologi diperlukan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia. Akan tetapi, pengembangan tersebut tidak boleh mengorbankan kehidupan manusia dan lingkungannya. Kitakyushu telah membuktikan bahwa kedua sisi pengembangan ekonomi dan teknologi tersebut tidak perlu bertentangan, tetapi justru sebaliknya, dapat dan harus diselaraskan untuk menghormati dan mengangkat keluhuran martabat manusia beserta lingkungannya. Semoga Konvensi PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) di Kopenhagen pada bulan Desember 2009 nanti, yang akan dihadiri oleh hampir 100 kepala pemerintahan dari seluruh dunia, termasuk Indonesia, akan menghasilkan komitmen yang nyata untuk mengatasi masalah kemanusiaan dan lingkungan hidup yang sedang genting ini.

Yogyakarta, 1 Juli 2009
Frans Susilo, SJ

APLIKASI SIMULASI ANNEALING DALAM MEMPREDIKSI TEKANAN ALIR RESERVOIR PANAS BUMI

Jose Rizal

*Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu,
Jl. Raya Kandang Limun, Bengkulu 38371. Alamat e-mail: jose_mamora@unib.ac.id*

Sutawanir Darwis

*Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132*

Ali Ashat

*Departemen Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132*

Abstract

The purpose of this research is to find out the characteristics of reservoir parameter and to estimate the pressure of geothermal from a new well in the Kamojang geothermal field. The Annealing simulation method is a conditional simulation that has some advantages, is able to avoid local optimal value mistakes, and can be used in data extrapolation. The results of the Annealing simulation on the geothermal field are image, contour, and semivariogram of parameter reservoir. There are two conclusions gained from this research. Annealing simulation method gives an image of reservoir with limited data and is valid to be used in parameters prediction of reservoir at the Kamojang geothermal field with significance 5% and the optimum pressure of geothermal is 31.85 ksc with location (-22248m, 1663.6m).

Keywords: *geothermal, pressure, reservoir characteristic, Annealing simulation*

1. Pendahuluan

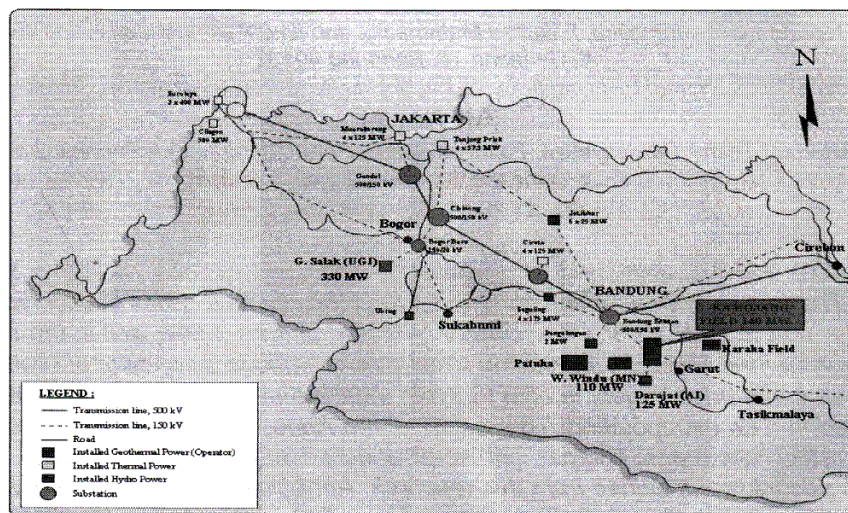
Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau lebih dikenal dengan arus konveksi. Hasil dari perambatan panas baik secara konduksi maupun konveksi akan memanaskan reservoir air yang ada disekitarnya dan menyebabkan terbentuknya reservoir panas bumi.

Beberapa parameter reservoir panas bumi, seperti tekanan alir, temperatur, *enthalpy*, fraksi uap dan pola aliran yang terjadi di dalam sumur digunakan sebagai indikator dalam kelayakan eksplorasi suatu kawasan panas bumi. Pengukuran kondisi dari parameter-parameter reservoir relatif sulit untuk dilakukan karena sulit menjaga alat ukur pada posisi yang tetap saat laju alir fluida tinggi. Pengukuran di sumur panas bumi terbatas hanya pada pengukuran untuk mengetahui besarnya laju alir massa, *enthalpy*, kandungan gas dan kandungan ion. Sedangkan perubahan tekanan alir di dalam sumur biasanya diestimasi dengan metode tertentu (Saptadji, 1997).

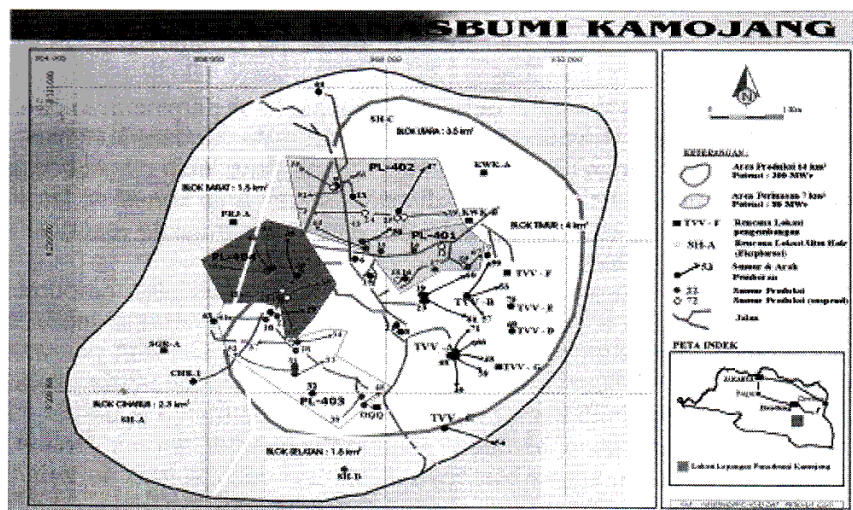
Prediksi tekanan alir dan pola aliran pada berbagai kedalaman sangat diperlukan untuk (i) memperkirakan *flashing zone*, yaitu kedalaman dimana gelembung-gelembung uap mulai terbentuk, (ii) memperkirakan akan terjadinya *slug flow*, dimana *slug flow* yang terjadi di dalam sumur maupun di pipa alir tidak dikehendaki karena akan menyebabkan aliran fluida dari sumur produksi menjadi berubah-ubah secara tidak beraturan, (iii) pembuatan kurva produksi pada berbagai tekanan kepala sumur, (iv) menghitung pengaruh ukuran lubang sumur terhadap kemampuan produksi sumur, dan (v) mengestimasi penurunan kemampuan produksi sumur karena penurunan tekanan reservoir.

* Alamat penulis untuk korespondensi

Pada saat ini, di lapangan panas bumi Kamojang yang terletak di Kabupaten Bandung, Jawa Barat (Gambar 1) telah dilakukan pemboran sebanyak 76 sumur yang tersebar pada area seluas kurang lebih 14 km². Diperkirakan terdapat potensi panas bumi pada area seluas 7 km² pada bagian tepi yang dapat dimanfaatkan (Gambar 2). Sebelum dilakukan eksplorasi dan pemboran sumur produksi, ahli-ahli panas bumi memerlukan suatu gambaran awal dari karakteristik reservoir guna menentukan kelayakan pengembangan dari kawasan tersebut. Sampai saat ini, data informasi tentang parameter-parameter reservoir sangat terbatas, khususnya parameter tekanan alir (Achyar *et al*, 2005).



Gambar 1. Lokasi lapangan panas bumi



Gambar 2. Peta lapangan panas bumi

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari, mengembangkan dan mengaplikasikan simulasi *Annealing* dalam melihat kemampuan simulasi *Annealing* menghasilkan karakteristik reservoir khususnya tekanan alir dan memprediksi tekanan alir maksimum sumur panas bumi baru pada satu kawasan blok eksplorasi di lapangan panas bumi Kamojang dengan data lapangan yang terbatas.

2. Metodologi Penelitian

Dalam simulasi data reservoir (Grant, 1982) terlebih dahulu reservoir dibagi dalam suatu sistem grid dua dimensi dengan memperhatikan letak dari data aktual. Simulator reservoir memerlukan masukan dalam mendeskripsikan karakteristik reservoir berupa harga parameter-parameter reservoir untuk setiap grid. Pemberian harga distribusi awal untuk setiap titik pada grid dari daerah pengamatan yang tidak memiliki nilai pengamatan disebarkan dengan cara *random number generator* $R(0,1]$ yang disebarkan mengikuti distribusi statistik (*Cumulative Distribution Function* (F)) yang sama seperti data lapangan. Berdasarkan harga ini, ditentukan harga variabel $Z(x_i)$ pada grid (x_i, y_i) dengan persamaan (Cressie, 1993):

$$Z(x_i) = Z_m + (Z_m - Z_{m-1}) \left(\frac{R(0,1] - F(Z_{m-1})}{F(Z_m) - F(Z_{m-1})} \right) \quad (1)$$

Fungsi distribusi kumulatif diskret $F(Z_m)$ dari variabel simulasi untuk suatu batas atas kelas Z_m diberikan oleh persamaan:

$$F(Z_m) = \frac{1}{N_s} \sum_{l=1}^{N_s} i(\omega_l; Z_m) \quad (2)$$

dengan fungsi indikator i adalah:

$$i(\omega_l; Z_m) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } Z(\omega_l) \leq Z_m \\ 0 & \text{untuk } Z(\omega_l) > Z_m \end{cases} \quad (3)$$

Korelasi Spatial

Tingkat korelasi di titik x dan $x + h$ (Armstrong, 1998; Hohn, 1999) dijelaskan melalui penurunan rumus berikut:

$$\rho(h) = 1 - \frac{\gamma(h)}{C(0)} \quad (4)$$

Estimasi variogram eksperimental ($\gamma(h)$) merupakan rata-rata kuadrat selisih harga dua titik data yang terpisah sejauh h (jarak), yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\lambda(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

Prinsip Dasar Simulasi Annealing (Deutsch & Journal, 1991)

Metode simulasi *Annealing* dikembangkan berdasarkan analogi dari proses pendinginan cairan. Dengan menurunkan temperatur secara perlahan, molekul-molekul tersebut diberi kesempatan untuk mengatur diri sehingga diperoleh suatu keadaan stasioner dengan tingkat energi yang minimum. Metode simulasi *Annealing* untuk karakterisasi reservoir terdiri dari 5 (lima) komponen utama, yaitu konfigurasi sistem, fungsi objektif, parameter kontrol, mekanisme untuk merubah konfigurasi, *annealing schedule* (Aarts & Korst, 1989).

Fungsi objektif didefinisikan sebagai perbedaan antara semivariogram empirik dari simulasi dengan model semivariogram. Persamaan fungsi objektif tersebut adalah:

$$E^k = \frac{1}{E_0} \sqrt{\sum_{j=i-1}^{N_a} \sum_{i=1}^{N_i} (\gamma_s^k(h_i) - \gamma_0(h_i))^2}, E_0 = \sqrt{\sum_{j=i-1}^{N_a} \sum_{i=1}^{N_i} \left(\frac{\gamma_s^0}{\gamma_0(h_i)} - 1 \right)^2} \quad (6)$$

di mana:

- E^k : Fungsi energi setelah iterasi langkah ke k
- N_d : Banyaknya arah model variogram yang didefinisikan
- $\gamma_s^k(h_i)$: Semivariogram dari empirik pada *lag distance* h_i
- $\gamma_0(h_i)$: Semivariogram model pada *lag distance* h_i

Mekanisme pertukaran adalah proses iterasi pada simulasi *Annealing* yang ditentukan secara acak dengan mengambil bilangan bulat, I_1 dan I_2 ,

$$I_1 = 1 + \text{INT}(N_t R_1) \text{ dan } I_2 = 1 + \text{INT}(N_t R_2) \quad (7)$$

di mana R_1 dan R_2 merupakan bilangan random yang mempunyai distribusi seragam dalam daerah $(0,1]$ dan INT menunjukkan hanya bagian bilangan bulatnya yang diambil.

Dalam menentukan titik yang akan ditukar ada tiga kondisi yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Titik-titik yang akan ditukar bukan merupakan titik data aktual $I_1 \neq (x_i, y_i)_a$ dan $I_2 \neq (x_i, y_i)_a$ di mana $(x_i, y_i)_a$ merupakan titik data aktual.
2. Titik-titik yang akan ditukar mempunyai selisih harga variabel yang lebih besar dari suatu harga minimum tertentu (harga minimum yang pada umumnya dipilih sebesar 1% dari selisih harga variabel terbesar dan terkecil).

$$|Z(I_1) - Z(I_2)| > 0.01(Z(x_i)_{\max} - Z(x_i)_{\min}) \quad (8)$$

3. Memenuhi kondisi Metropolis.

Apabila syarat pertama dan kedua telah dipenuhi maka dua titik tersebut telah siap untuk ditukar, tetapi terjadi penukaran atau tidak tergantung dari kondisi Metropolis. Persamaan kondisi Metropolis didefinisikan sebagai berikut:

$$P(\Delta E^k, T^r) = \begin{cases} 1 & \text{bila } \Delta E^k \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta E^k}{T^r}\right) & \text{bila } \Delta E^k > 0 \end{cases} \quad (9)$$

Parameter kontrol (T^r) simulasi *Annealing* didefinisikan sebagai berikut:

$$T^r = \begin{cases} \frac{1}{m_2} \sum_{i=1} \Delta E_{awal}(i) & \text{untuk } r = 0 \\ n \left(\frac{m_2}{0.99m_2} - 0.01m_1 \right) & \\ \alpha T^{r-1} & \text{untuk } r = 1, 2, 3, \Lambda \end{cases} \quad (10)$$

Parameter α adalah faktor laju konvergensi yang mempunyai harga konstan selama simulasi, yaitu sebesar $0 < \alpha < 1$.

Prosedur Penelitian

Daerah simulasi dibagi dalam 35 grid arah utara-selatan dan 35 grid arah barat-timur. Jadi pada daerah eksplorasi terdapat 1225 grid, dimana luas 1 grid didefinisikan memiliki luas 10000 m² dalam kondisi yang sebenarnya. Untuk melihat validasi hasil simulasi, dari 26 lokasi data tekanan alir sumur panas bumi Kamojang, hanya 15 lokasi sumur yang digunakan dalam simulasi *Annealing*. Sedangkan 11 lokasi sumur lainnya, digunakan sebagai validasi hasil simulasi.

Proses simulasi *Annealing* (Irdamsyah, 1993) terdiri dari beberapa tahapan dimana setiap tahapannya terdiri atas beberapa iterasi. Berikut algoritma dari proses simulasi *Annealing*:

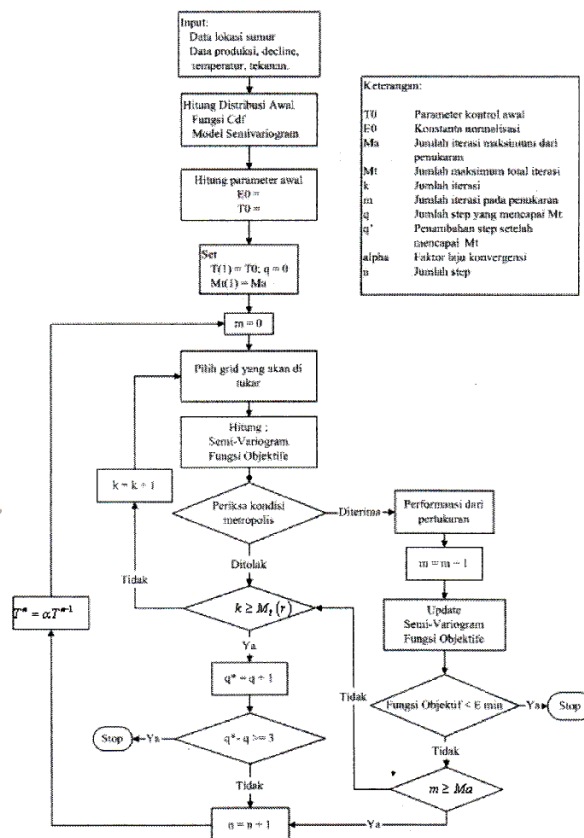
1. Menghitung distribusi awal untuk setiap grid dalam daerah pengamatan.
2. Menghitung konstanta awal fungsi objektif E^0 dan parameter kontrol awal T^0 .
3. Untuk langkah pertama jumlah total maksimum iterasi sama dengan jumlah total iterasi yang diterima.
4. Memilih dua grid secara random, I_1 dan I_2 , dengan menggunakan mekanisme penukaran yang telah dijelaskan sebelumnya.
5. Menghitung semivariogram data dan fungsi objektif yang didapatkan jika penukaran diterima berdasarkan kondisi Metropolis.
6. Menguji kondisi Metropolis jika suatu penukaran dapat diterima seperti yang diusulkan pada langkah (4).
 - a. Jika $R \leq P(\Delta E^k, T^r)$ maka penukaran akan diterima.
 - i. Distribusi dari harga variabel akan diubah dengan menggunakan variabel sementara $W_1 = Z(I_1)$ dan $W_2 = Z(I_2)$, di mana penukaran variabel simulasinya adalah $W_1 = Z(I_2)$ dan $W_2 = Z(I_1)$.

- ii. Perubahan semivariogram dilakukan, yaitu $\gamma_s^{k+1}(h) = \gamma_s(h)$
- iii. Perubahan harga fungsi objektif, yaitu $E^{k+1} = E$
- b. Jika jumlah total iterasi yang diterima dalam suatu langkah telah melebihi jumlah maksimum iterasi yang diterima dalam satu langkah, M_a , maka dilanjutkan ke langkah (9).
- c. Jika $R > P(\Delta E^k, T^r)$ maka penukaran yang diusulkan pada langkah (4) tidak diterima. Dalam kasus ini perubahan variabel simulasi tidaklah dilakukan karena semivariogram dan fungsi objektif tidak berubah.
7. Selanjutnya diperiksa apakah banyaknya iterasi yang telah dilakukan dalam satu langkah r telah melebihi jumlah total iterasi dalam satu langkah. Jika kondisi ini terpenuhi maka dilanjutkan ke langkah (4).
8. Menentukan harga parameter kontrol, T^{r+1} untuk langkah berikutnya.
9. Menentukan jumlah maksimum iterasi untuk langkah selanjutnya.

Software Pendukung

Beberapa software yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Matlab (versi 6)*. Software ini digunakan untuk mendapatkan Variogram Eksperimental sebagai input proses Simulasi *Annealing* dan pendeskripsian image dan kontur dari hasil simulasi *Annealing*.
2. *Geostatistic Library (GSLIB) 77*. Software ini digunakan untuk melakukan simulasi *Annealing*. Pada software ini, terdapat 4 (empat) komponen penting yang digunakan dalam proses simulasi *Annealing* di antaranya: *SASIM.PAR* (Gambar 4), *SASIM.INC*, *SASIM.FOR* dan *SASIM.DSW*.
3. *Minitab versi 14*. Software ini digunakan dalam uji validasi dari hasil Simulasi *Annealing*.



Gambar 3. Flow chart Simulasi Annealing

Parameters for SASIM

```

START OF PARAMETERS:
Tekanan15.dat      \conditioning data (if any)
1 2 1 3           \columns: x,y,z,vr
-1.0e21 1.0e21     \data trimming limits
0                 \0=non parametric; 1=Gaussian
Tekanan15.dat
3 0               \columns: vr,wt
15.95 37.78       \minimum and maximum data values
1 1.0             \lower tail option and parameter
4 2.0             \upper tail option and parameter
sasim.out          \output File for simulation
sasim.var          \output File for variogram
3 50              \debug level, reporting interval
sasim.dbg          \output file for debugging
0                 \annealing schedule? (0=auto)
1.0 0.1 6250 2500 3 0.00001 \manual schedule: t0,lambd,ka,k,e,Omin
1                 \1 or 2 part objective function
120630            \random number seed
1                 \number of simulations
35 50.0 100.0     \nx,xmn,xsiz
35 50.0 100.0     \ny,ymn,ysiz
1 1 1             \nz,zmn,zsiz
24               \max lags for conditioning
1 0.2 0           \nst, nugget, (1=renormalize)
1 300 25          \it,aa,cc: STRUCTURE 1
0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 \ang1,ang2,ang3,anis1,anis2:

```

Gambar 4. Parameter masukan Simulasi *Annealing* dalam program SASIM.PAR

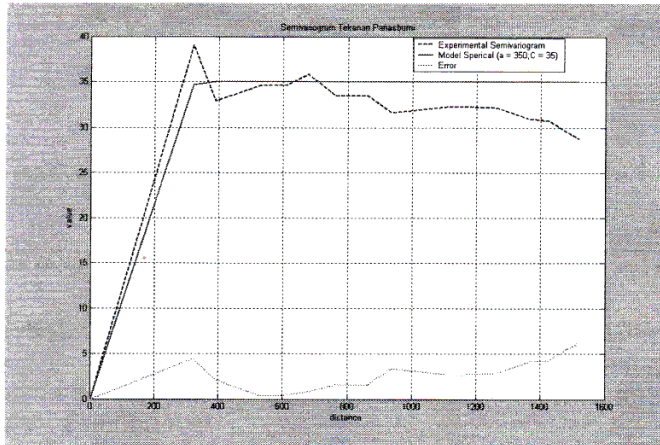
3. Hasil dan Pembahasan

Selama proses iterasi simulasi *Annealing* berlangsung akan terjadi perubahan energi dan jumlah penukaran lokasi dimana perubahan energi akan menurun secara eksponensial dan jumlah penukaran akan bertambah banyak untuk setiap iterasinya sampai dicapai suatu kondisi stasioner.

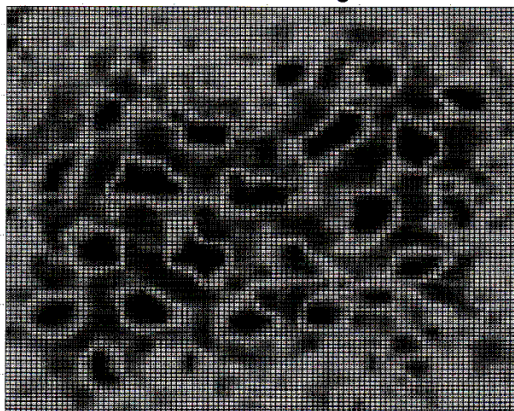
Untuk melakukan simulasi *Annealing*, terdapat beberapa parameter-parameter yang harus dimasukkan kedalam program SASIM.PAR di antaranya:

1. "Tekanan15.dat \conditioning data (if any)". Perintah ini memanggil data yang akan dilakukan simulasi *Annealing*.
2. "15.95 37.78 \minimum and maximum data values". Perintah ini untuk memasukkan data minimum dan maksimum berdasarkan pada data lapangan, sehingga hasil estimasi tekanan dari simulasi *Annealing* untuk tiap titik-titik lokasi simulasi akan berada pada interval [15.95,37.78].
3. "sasim.out \output File for simulation". Perintah ini untuk pemberian nama file hasil output simulasi *Annealing*.
4. "sasim.var \output File for variogram". Perintah ini untuk pemberian nama file untuk variogram yang dihasilkan dari simulasi *Annealing*.
5. "1.0 0.1 6250 2500 3 0.00001 \manual schedule: t0,lambd,ka,k,e,Omin". Perintah ini untuk menentukan nilai-nilai dari temperatur awal, lamda, nilai ka, k, dan energi minimum yang digunakan dalam simulasi.
6. "35 50.0 100.0 \nx,xmn,xsiz". Perintah ini untuk menentukan banyaknya dan ukuran pembagian dari grid pada sumbu x.
7. "35 50.0 100.0 \ny,ymn,ysiz". Perintah ini untuk menentukan banyaknya dan ukuran pembagian dari grid pada sumbu y.
8. "1 1 1 \nz,zmn,zsiz". Perintah ini untuk menentukan banyaknya dan ukuran pembagian dari grid pada sumbu z, dalam hal ini diabaikan.
9. "1 300 25 \it,aa,cc: STRUCTURE 1". Perintah ini untuk menentukan variogram eksperimental dari data lapangan yang disimulasikan. Kolom pertama menunjukkan model semivariogram yang digunakan (1 menyatakan model *Spherical*), kolom kedua menyatakan nilai parameter dari model semivariogram (Range (a) dan Sill(C)).

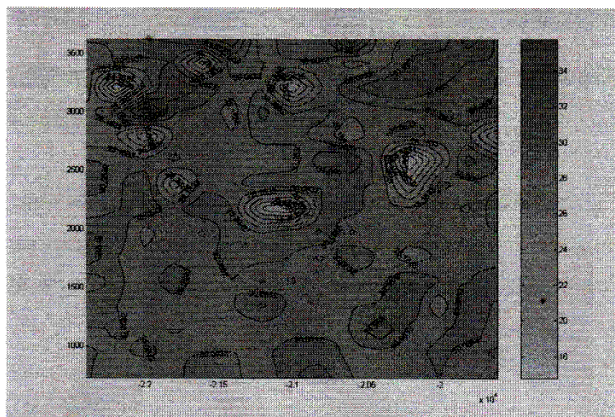
Dalam setiap iterasinya, akan dihasilkan perubahan image, kontur dan semivariogram. Image hasil simulasi *Annealing*, dimana penurunan energi telah mencapai kondisi stasioner tampak pada Gambar 6, pewarnaan (biru, kuning, orange, dan merah) yang berbeda menunjukkan representasi nilai estimasi dari besarnya tekanan alir di lokasi tersebut. Warna merah menunjukkan tekanan alir yang lebih besar bila dibandingkan dengan warna biru, kuning dan orange. Untuk melihat besarnya estimasi tekanan alir dapat dilihat dari kontur yang dihasilkan, seperti tampak pada Gambar 7.



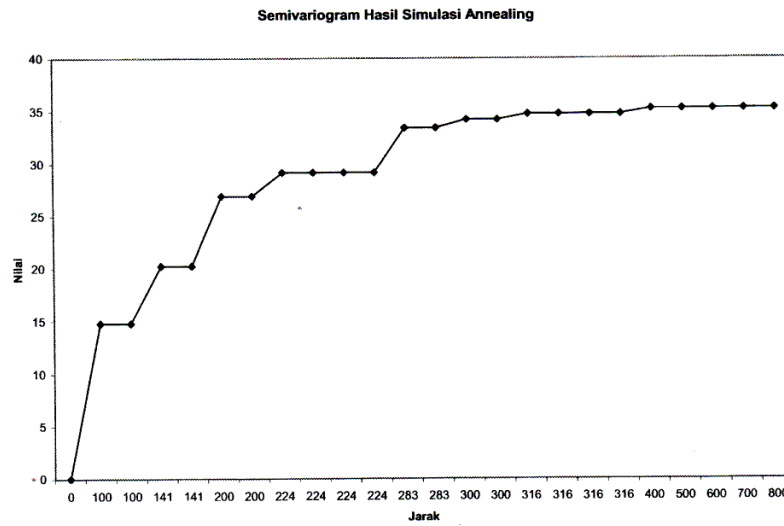
Gambar 5. Semivariogram data aktual



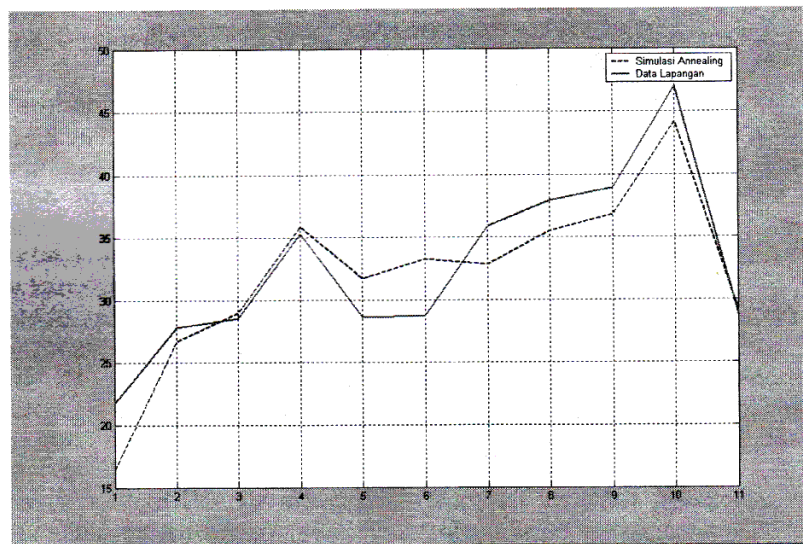
Gambar 6. Image hasil simulasi *Annealing*



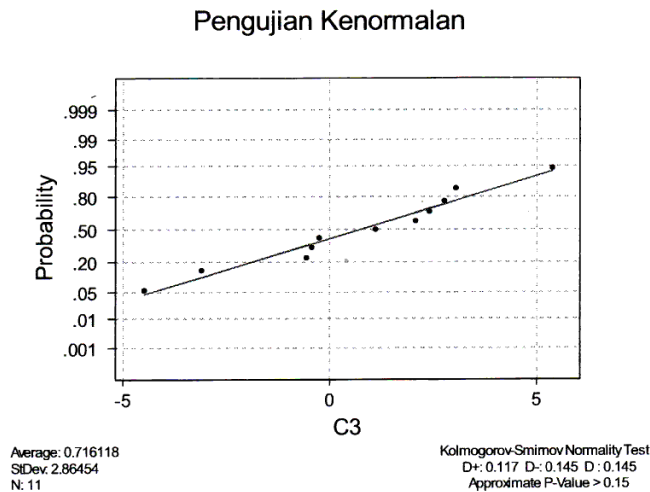
Gambar 7. Kontur hasil simulasi *Annealing*



Gambar 8. Semivariogram hasil simulasi *Annealing*



Gambar 9. Plot data aktual dan simulasi *Annealing*



Gambar 10. Pengujian galat regresi

Uji Validitas

Uji validitas pada hasil simulasi *Annealing* dimaksudkan untuk mengetahui kualitas realisasi parameter hasil simulasi *Annealing* pada kawasan pengembangan reservoir panas bumi. Uji validitas ini dilakukan dengan menghitung *tingkat kemiripan antara hasil simulasi Annealing dengan data lapangan*, di antaranya:

1. Semivariogram yang dihasilkan dari 15 data lapangan dan hasil simulasi *Annealing* menghasilkan model semivariogram yang identik yakni model *Spherical* (Gambar 5 dan 8).
2. Pada Gambar 9, grafik perbandingan antara data lapangan dengan hasil simulasi *Annealing* menunjukkan hasil simulasi dengan data yang digunakan sebagai uji validitas identik pada setiap data uji lokasi sumur.
3. Model regresi dari data lapangan (X) dan hasil simulasi *Annealing* (Y) adalah:

$$y = 3.267 + 0.9202X + \varepsilon \quad R^2 = 0.84 \quad (11)$$

Berdasarkan hasil pengujian secara statistika, diperoleh:

- a) ε mengikuti *Distribusi Normal* (Gambar 10)
- b) Hasil pengujian dari nilai $\hat{\beta}_0$ dan $\hat{\beta}_1$ dari model regresi persamaan 11.

i. Perumusan Hipotesis untuk

- $\hat{\beta}_0 (H_0 : \hat{\beta}_0 = 0 \quad H_1 : \hat{\beta}_0 \neq 0)$
- $\hat{\beta}_1 (H_0 : \hat{\beta}_1 = 1 \quad H_1 : \hat{\beta}_1 \neq 1)$

ii. Dengan memilih $\alpha = 0.05$ dan $n = 11$, diperoleh t tabel = 2.92.

iii. t hitung untuk

- pengujian $\hat{\beta}_0$, adalah $\frac{\hat{\beta}_0 - \beta_0}{(\text{Cov}(\hat{\beta}_0))^{0.5}} = 1.9702$.
- pengujian $\hat{\beta}_1$, adalah $\frac{\hat{\beta}_1 - 1}{(\text{Cov}(\hat{\beta}_1))^{0.5}} = 0.3162$.

iv. Kesimpulan: Karena $|t \text{ hitung}| < t \text{ tabel}$ untuk masing-masing $\hat{\beta}_0$ dan $\hat{\beta}_1$, maka H_0 diterima. Artinya nilai $\hat{\beta}_0$ tidak berbeda secara signifikan dengan nol dan nilai $\hat{\beta}_1$ tidak berbeda secara signifikan dengan satu. Jadi model regresi pada persamaan 11 dapat ditulis $Y = X + \varepsilon$

4. Kesimpulan

Berkaitan dengan kemampuan simulasi *Annealing* dalam menghasilkan karakteristik reservoir pada suatu lapangan panas bumi, dapat disimpulkan:

1. Simulasi *Annealing* mampu menggambarkan image dan kontur dari kawasan eksplorasi reservoir panas bumi dengan data yang terbatas, sehingga dapat di lihat kawasan-kawasan yang menghasilkan tekanan alir panas bumi yang optimal.
2. Simulasi *Annealing* dapat memberikan hasil yang valid dalam memberikan suatu gambaran karakteristik reservoir pada block Barat-Ciharus. Hal ini didasarkan pada hasil validasi simulasi *Annealing* pada parameter reservoir, di mana metode ini valid untuk digunakan dengan tingkat kepercayaan 95%.
3. Estimasi tekanan alir panas bumi maksimum pada block Barat-Ciharus dari simulasi *Annealing* berada pada koordinat (-22248m,1663.6m) dengan estimasi tekanan sebesar 31.85 ksc.

Kepustakaan

- Aarts, E. and Korst, J. 1989. *Simulated Annealing and Boltzmann Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing*. New York: John Wiley.
- Achyar, M. K. et al. 2005. *Application of Modified Isochronal Test to Determine Output Curve of Wells at Kamojang Geothermal Field-West Java*. Proceedings of World Geothermal Congress, Antalya, Turkey (akan dipublikasikan).
- Armstrong, M. 1998, *Basic Linear Geostatistics*. Berlin: Springer.
- Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley.
- Deutsch, C. V. and Journel, A. G. 1991. *The Application of Simulated Annealing to Stochastic Reservoir Modeling*. Paper SPE 23565, SPE Journal.
- Grant, M. A. 1982. *Geothermal Reservoir Engineering*. London: Academic Press.
- Hohn, M. E. 1999. *Geostatistics and Petroleum Geology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Irdamsyah. 1993. *Penggunaan Metode Simulasi Annealing Untuk Deskripsi Reservoir Lapangan Tanjung Tiga Timur*. Thesis. Institut Teknologi Bandung.
- Saptadji, N. M. 1997. *Teknik Panas Bumi*. Departemen Perminyakan, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB.

JOSE RIZAL

Dosen di Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu.

KETENTUAN PENULISAN KARANGAN

- Karangan ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Word* dengan font *Arial* ukuran 12 *point*, maksimum 15 halaman kuarto dengan satu setengah spasi.
- Karangan hasil penelitian disusun dengan sistematika sebagai berikut: Judul. Nama Pengarang. *Abstract*. *Keywords*. Pendahuluan. Metode Penelitian. Hasil Penelitian. Pembahasan. Kesimpulan dan Saran. Ucapan Terima Kasih (kalau ada). Daftar Kepustakaan. Sistematika tersebut dapat disesuaikan untuk penyusunan karangan ilmiah non-penelitian.
- **JUDUL** karangan dicetak dengan huruf besar, tebal, dan tidak melebihi 18 kata.
- **Nama Pengarang** (tanpa gelar), instansi asal, alamat, dan alamat *e-mail* dicetak di bawah judul.
- **Abstract** (tidak lebih dari 150 kata) dan **Keywords** (3 sampai 5 kata) ditulis dalam bahasa Inggris, satu spasi, dengan huruf *miring*.
- **Daftar Kepustakaan** hanya memuat literatur yang dirujuk dalam karangan dan dicantumkan secara urut abjad nama belakang pengarang pertama dengan ketentuan sebagai berikut:
 1. Untuk buku: Nama belakang pengarang diikuti nama lain. Tahun. *Judul Buku*. Kota Penerbit: Penerbit.
 2. Untuk karangan dalam buku dengan banyak kontributor: Nama Pengarang. Tahun. "Judul Karangan." Dalam: Nama Editor. *Judul Buku*. Kota Penerbit: Penerbit. Halaman.
 3. Untuk karangan dalam jurnal/majalah: Nama Pengarang. Tahun. "Judul Karangan." *Nama Majalah*, **Volume** (Nomor): Halaman.
 4. Untuk karangan dari internet: Nama Pengarang. Tahun. "Judul Karangan." Alamat di internet (*URL*). Tanggal mengakses karangan tersebut.
- **Perujukan pustaka** dalam karangan dilakukan dengan mencantumkan nama belakang pengarang dan tahun karangan dalam tanda kurung: (Hadley, 2003); Hadley (2003).
- **Gambar** diberi nomor dan keterangan di bawahnya, sedangkan **Tabel** diberi nomor dan keterangan di atasnya. Keduanya harus asli (bukan fotokopi) dan jelas.
- **Naskah karangan**, yang dilengkapi dengan **biodata** singkat pengarang dikirimkan ke alamat Penyunting SIGMA (lihat bagian dalam sampul depan) berupa dua eksemplar naskah tercetak (*print out*) dengan menyertakan *file*-nya dalam disket/cd.